

La porta lignea del duomo di Todi

Indagini microclimatiche e conoscitive finalizzate a una proposta conservativa

Giorgia Genco, Angela Lo Monaco, Maurizio Marabelli, Claudia Maura, Claudia Pelosi

kermes
LA RICERCA

Introduzione

Lo studio condotto sulla porta lignea centrale del duomo di Todi ha avuto come obiettivo la conoscenza dello stato conservativo del manufatto tramite il monitoraggio microclimatico dell'ambiente, l'osservazione diretta e l'analisi in laboratorio delle specie legnose e dei materiali di restauro utilizzati; ciò al fine di ottenere dati oggettivi atti a orientare le scelte conservative. Si vuole sottolineare che il presente lavoro è stato effettuato sulla base dell'interesse dimostrato dall'Opera del Duomo di Todi che ha coinvolto docenti, ricercatori e laureandi dell'Università della Tuscia al fine di ottenere dati scienti-

ficamente validi per poter avanzare le migliori proposte conservative per il manufatto.

A tal fine, sono state effettuate due campagne di rilevamento, una invernale ed una estiva, che hanno previsto la misurazione puntuale dell'umidità relativa dell'aria, della temperatura e dell'umidità del legno ed infine dell'irraggiamento solare¹. Inoltre, sono stati posizionati tre data logger (nell'ambiente interno del portone, sul coro ligneo del duomo e sul campanile) per la misurazione dell'umidità relativa e della temperatura dell'aria per un periodo di circa un mese, sia nella stagione invernale che in quella estiva².

Sono stati prelevati alcuni campioni per il riconoscimento delle specie legnose, sia nella porzione esterna della porta che in quella interna ed è stato condotto un esame presso il laboratorio di microscopia del DAF dell'Università della Tuscia.

L'analisi spettrofotometrica dei materiali utilizzati nell'ultimo restauro, è stata invece realizzata presso il Laboratorio di diagnostica per la conservazione e il restauro 'Michele Cordaro' della facoltà di Conservazione dei Beni Culturali dell'Università della Tuscia.

Una ricerca eseguita presso l'archivio del capitolo della cattedrale di Todi, ha permesso di ricostruire le diverse fasi storiche della porta e di conoscere alcuni interventi di restauro eseguiti sul manufatto nel secolo scorso. Infine, è stata eseguita una campagna fotografica che ha consentito l'elaborazione di un rilievo grafico della porta.

La porta lignea

La porta (figg. 1, 2, 3) presenta una superficie esterna scolpita ed una superficie interna liscia.

La porzione superiore della superficie esterna è suddivisa in quattro riquadri nella parte centrale, incorniciati lateralmente da due pannelli di

Giorgia Genco

Laureata in Tecnologie per la Conservazione e il Restauro bbcc, svolge ricerche presso il Laboratorio di Diagnostica per la Conservazione e il Restauro, Università della Tuscia, per un progetto della Filas Lazio.

Angela Lo Monaco

Professore di Tecnologia del legno e utilizzazioni forestali, Facoltà di Agraria, Università della Tuscia; socio AIAR. Si occupa della caratterizzazione del legno anche nel settore dei bbcc.

Maurizio Marabelli

Professore a contratto di Chimica del Restauro presso la Facoltà di Conservazione bbcc, Università della Tuscia, già Direttore del Laboratorio di Chimica ICR.

Claudia Maura

Laureata in Tecnologie per la Conservazione e il Restauro dei bbcc, collabora con lo studio M.I.D.A. di C. Falcucci.

Claudia Pelosi

Ricercatore di Chimica analitica presso la Facoltà di Conservazione dei bbcc, Università della Tuscia, dove da anni si occupa dello studio e della caratterizzazione di diversi materiali utilizzati nei bbcc; socio AIAR.

Fig. 1 - Porta lignea centrale del duomo di Todi (© Marco Crocetti).



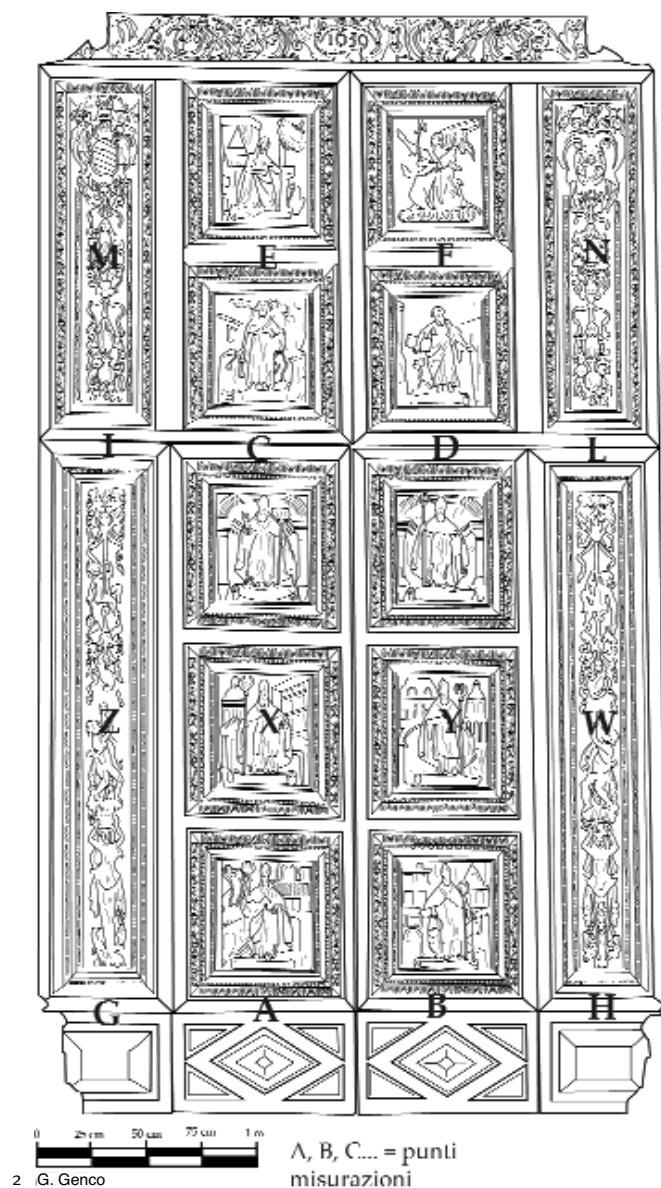
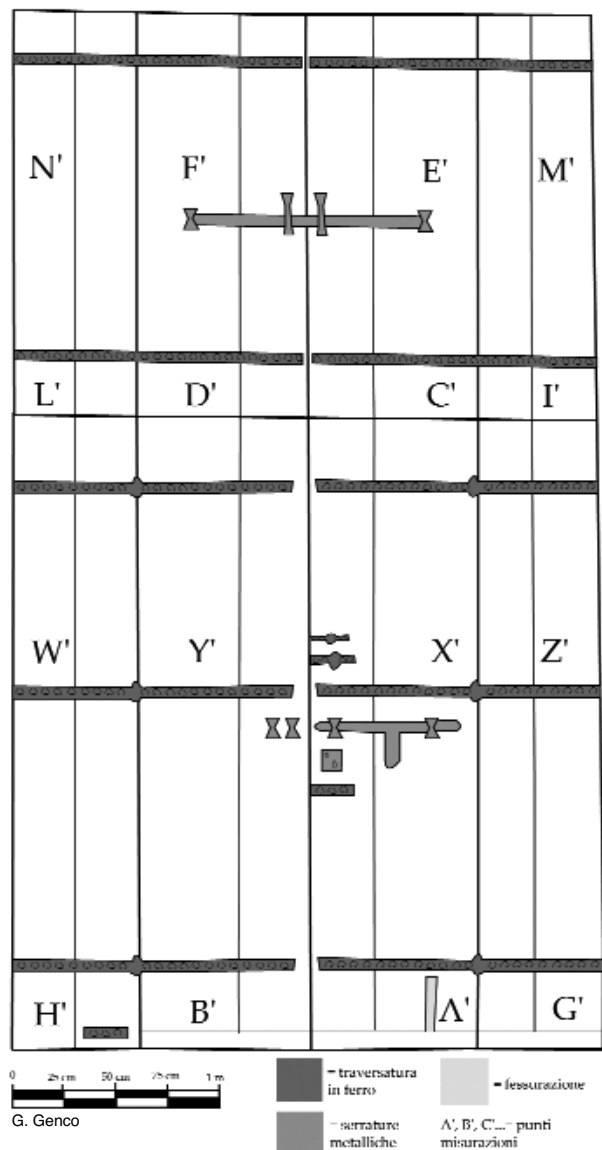


Fig. 2 - Punti di misura sulla superficie esterna dei parametri ambientali.

Fig. 3 - Punti di misura sulla superficie interna dei parametri ambientali.



forma rettangolare (uno per ogni lato), delimitata, nella parte superiore, da un architrave (fig. 4). La zona inferiore è costituita da sei riquadri centrali (che fungono da ante della porta), incorniciati da due pannelli di forma rettangolare (uno per ogni lato) e dallo zoccolo nella parte inferiore. I quattro pannelli superiori rappresentano rispettivamente l'Annunciata, l'Angelo, San Pietro e San Paolo. I sei pannelli delle ante rappresentano nell'ordine San Martino I papa, i vescovi di Todi San Terenziano, San Cassiano, San Callisto, San Leucio e San Fortunato; le candelabre laterali, scandite da motivi fitomorfi ed antropo-

morfi (fig. 5), sono sormontate nella porzione superiore dallo stemma del capitolo della cattedrale a destra, mentre a sinistra da quello dei conti di Carpegna, famiglia del committente della porta. Tutti i pannelli sono tenuti insieme da un'armatura lignea, che funge da sostegno dell'intera struttura, e sono vincolati da chiodi in ferro con testa di diametro di 2 cm e lunghezza prossima agli 8 cm.

La porzione interna della porta presenta un differente assetto, dovuto alla più semplice lavorazione richiesta: sia le due parti laterali che le due parti centrali (porzione destra e porzione

sinistra) sono costituite da due assi lignee ciascuna, che si sviluppano verticalmente per l'intera lunghezza della porta. Ovviamente nella zona centrale le assi sono tagliate trasversalmente all'altezza dell'apertura delle ante. Un sistema di traverse di ferro vincola tutte le assi tra loro, a diverse altezze.

La porta misura complessivamente 5 m in altezza, 2,84 m in larghezza ed ha uno spessore massimo di 12 cm. Le due ante non sono simmetriche, in quanto quella destra è larga 1,44 m, mentre la sinistra misura 1,40 m.

Vicende storiche e conservative

Nel luglio del 1513 messer Giovanni Pontano, priore ed operaio della cattedrale di Todi, commissionò al maestro Antonio Bencivegna da Mercatello da Massa, la costruzione di una nuova porta del duomo, poiché quella esistente era rimasta gravemente danneggiata da un incendio divampato nel 1433. Il Bencivenga utilizzò il legno di noce per la realizzazione della porta che fu terminata nel giugno del 1521³.

Nel 1623 un fulmine colpì il campanile, danneggiando nuovamente la porta⁴. Solo nel 1639, come attesta la data incisa nell'architrave, il



Fig. 4 - Parte superiore dell'esterno della porta (© Marco Crocetti).

Fig. 5 - Particolare delle candelabre (© Marco Crocetti).

vescovo Carpegna, in accordo con il capitolo, decise di far eseguire una nuova porta, la quale fu progettata e disegnata dal francese Carlo Lorenti ed eseguita da Vittorio Onori Sforzini da Città della Pieve e Cristoforo Crescimbeni da Bettona, entrambi *magistri legnamis*⁵. La porta fu portata a termine tra il marzo ed il dicembre del 1639.

I quattro pannelli superiori della porta realizzata dal Bencivenga erano stati risparmiati dal fulmine. Essendosi conservati in discrete condizioni, furono inclusi nella nuova costruzione dell'opera, che prevede la realizzazione dei sei pannelli inferiori e delle candelabre laterali, sia inferiori che superiori.

Le parti ricostruite, secondo le fonti, furono eseguite in quercia e castagno, specie legnose che non sono state individuate nell'analisi eseguita in laboratorio.

Non vi sono documenti, oltre quelli del XVII secolo, che testimoniano ulteriori modifiche se non una ricevuta di pagamento, non molto dettagliata, risalente al 1792, che attesta il pagamento di 3 scudi a «Giuseppe perugino, intagliatore, per aver intagliato lo zoccolo ed altro nella porta grande».

Dal XVIII alla prima metà del XX secolo non si hanno documenti inerenti alla porta.

Negli anni '50-'60 del XX secolo fu realizzata una campagna di restauri che interessò l'intero duomo. Fu prodotta una copiosa documentazione degli interventi, senza far riferimento ad eventuali provvedimenti eseguiti sulla porta, che quasi sicuramente dovettero essere realizzati, se non altro per completare un progetto che aveva come fine la riapertura al pubblico ed al culto del duomo⁶.





6



7

Fig. 6 - Particolare delle fessurazioni diffuse sull'intera superficie esterna.

Fig. 7 - Ingrigimento della superficie esterna.

Risale agli anni '80 uno specifico restauro che interessò il manufatto⁷. La porta risultava gravemente danneggiata a causa di un drastico lavaggio con soda, di pochi anni precedente. Si presentava inoltre in cattive condizioni di conservazione sia per la caduta di parti scolpite dai pannelli e dalle cornici che per il generale dissesto degli antichi serramenti metallici, in corrispondenza soprattutto dei battenti inferiori fuori squadra.

Durante l'intervento di restauro fu eseguita una pulitura completa delle superfici lignee per mettere in evidenza i danni ed avere un quadro chiaro della situazione. Successivamente furono asportati i rimanenti residui di soda; si proseguì

con il consolidamento delle superfici esterne ed interne mediante incollaggio ed inserimento di perni in legno stagionato. La tassellatura fu eseguita mediante l'inserimento di tasselli in noce ed in pioppo. Furono sostituiti alcuni pezzi in castagno di grossolana esecuzione novecentesca (si ipotizza del 1958), i quali erano fissati con dei chiodi che furono eliminati. I serramenti metallici furono resi nuovamente funzionanti mediante viti a mordente: quindi vennero ricalibrati con boccole metalliche inserite in corrispondenza dei perni dei cardini. Infine, la presentazione estetica del manufatto restaurato consistette nell'accompagnamento cromatico delle parti nuove con mordente e nella finitura con olio di lino cotto diluito con essenza di trementina in successive applicazioni, per garantire al legno una maggiore resistenza agli agenti atmosferici ed all'irraggiamento solare. A completamento dell'intervento si auspicava una necessaria manutenzione delle diverse parti del manufatto, a cura dell'autorità ecclesiastica.

Nel 1986/87 fu eseguito dal custode del duomo un intervento di manutenzione, di cui si ha solo notizia orale, che prevede una spolveratura con spazzolini e pennelli a setola morbida, per eliminare polveri e detriti incoerenti dalla superficie del manufatto e l'applicazione di strati di olio di lino cotto diluito in essenza di trementina, come protettivo.

Un ulteriore intervento, anch'esso non documentato, fu eseguito nel 1995: fu utilizzato un protettivo non definito, dato a pennello senza che fosse prevista una pulitura preliminare, con conseguenze dannose per il legno, sia sotto il profilo conservativo che sotto quello estetico. Il prodotto utilizzato, poiché aveva una colorazione scura, alterò completamente la tinta originale del legno. A seguito di tale evento la Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici, Artistici e Storici di Perugia rilevò la necessità di far restaurare nuovamente la porta. Il nuovo intervento fu eseguito nel 1998/99 a cura della dottoressa Margherita Romano e della dottoressa Carla Mancini. Al termine dei lavori, visto il particolare stato di degrado in cui versava la porta, fu consigliato un intervento di manutenzione ordinaria da eseguire circa sei mesi dopo la data di consegna del lavoro (relazione di restauro in fotocopia, in cui si cita l'uso di una resina acrilica consolidante e di una resina alchidica come protettivo del legno).

Nel 2003 la dottoressa Mancini, in seguito ad

un sopralluogo, redasse una relazione inerente lo stato di conservazione della porta in cui sottolineava che a distanza di quattro anni dall'ultimo intervento le condizioni del manufatto erano particolarmente preoccupanti. Infatti, lo strato della pellicola protettiva risultava assottigliato e frammentato, in particolare nelle zone di massimo aggetto, lasciando il legno privo di protezione e causando sbiancamenti. Inoltre, le ante mobili, riparate all'interno della bussola per gran parte della giornata, risultavano essere meglio conservate e quindi di tonalità discordante rispetto al resto della porta. Pertanto fu consigliato un immediato intervento, che avrebbe dovuto prevedere una rimozione mediante spolveratura del particellato depositato, la stesura di un impregnante di tipo alchidico leggermente pigmentato sulle ante fisse, un ritocco con impregnante alchidico pigmentato nelle zone particolarmente discordanti di tono ed una stesura di un impregnante alchidico di colore neutro sulle ante mobili.

L'operazione necessaria di manutenzione non fu mai eseguita. Inoltre, l'usura e il degrado dei prodotti utilizzati come protettivi hanno ulteriormente contribuito a compromettere lo stato conservativo del manufatto.

Stato attuale

Lo stato conservativo della porta è alquanto compromesso a causa della posizione che occupa nella facciata, che non garantisce un'adeguata protezione contro i principali fattori ambientali di deterioramento del legno: variazioni assai pronunciate delle condizioni termoisometriche al contorno, radiazioni solari, fenomeni di degrado biologico, fattori antropici connessi all'uso ed alla funzione che svolge il manufatto.

Sulla superficie esterna sono distinguibili zone meglio conservate rispetto ad altre, essendo le ante mobili riparate dalla bussola per gran parte della giornata; al contrario le ante fisse e i pannelli laterali sono continuamente esposti all'azione degli agenti atmosferici. Infatti le porzioni destra e sinistra della porta presentano maggiori deformazioni e fessurazioni (fig. 6) rispetto alla zona centrale, nonché notevoli ingiallimenti e ingrigimenti (fig. 7), causati dall'azione depolimerizzante della luce sui costituenti legnosi e sui prodotti sintetici di restauro. Essendo la facciata del duomo esposta a sud, la

porta è continuamente soggetta all'influenza dei raggi solari, dalle prime ore della mattina fino quasi al tramonto.

L'azione dilavante della pioggia (battente per gran parte delle stagioni fredde), in concomitanza con altri fattori di degrado ambientale (vento, grandine) e antropico, ha causato una progressiva erosione della superficie esterna, con perdita di gran parte dei particolari scolpiti, soprattutto nelle figure dei quattro pannelli superiori (fig. 8).

Le stuccature, concentrate nelle zone di assemblaggio delle tavole, ma presenti in tutta la superficie del manufatto, mostrano una diffusa craquelure ed hanno ormai assunto una colorazione rosa che stona con quella del materiale ligneo (fig. 9). Le teste dei chiodi, utilizzati per vincolare le diverse porzioni del manufatto, sono completamente a vista, ma in buono stato di

Fig. 8 - Pannello raffigurante un Vescovo in cui è visibile la perdita dei particolari scolpiti (© Marco Crocetti).

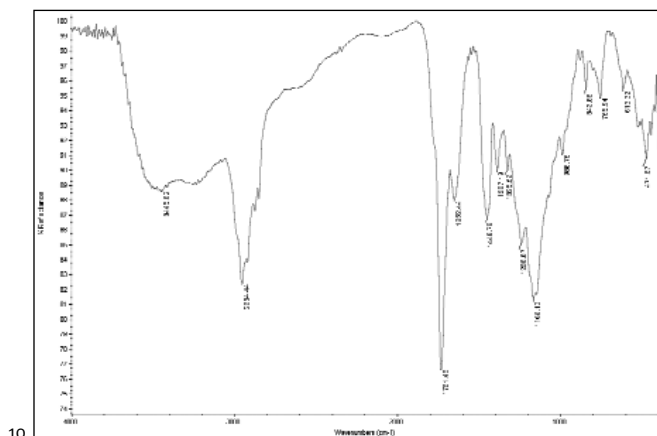
Fig. 9 - Particolare delle stuccature con diffusa *craquelure*.



8

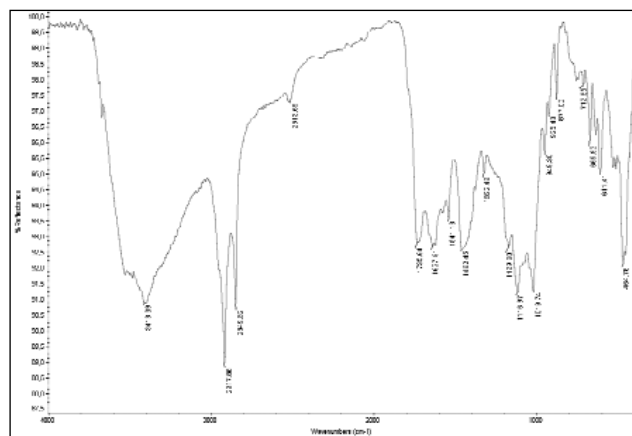


9



10

Fig. 10 - Spettro FTIR del prodotto applicato sulla superficie esterna (restauro del 1998/99).



11

Fig. 11 - Spettro FTIR del prodotto applicato sulla superficie interna (restauro del 1998/99).

conservazione, così come i cardini delle ante e le traverse della zona interna, che non segnalano alcun evidente processo di corrosione in atto. Il danno causato da fattori di deterioramento biologico è pressoché nullo.

I fattori di deterioramento che maggiormente incidono sullo stato di conservazione sono sicuramente quelli legati alle variazioni termoigrometriche. Infatti, l'intera superficie esterna è caratterizzata da fessurazioni delle tavole, che si sono sviluppate a causa dei continui movimenti che interessano i tessuti legnosi. L'andamento delle fessurazioni è connesso alla direzione della fibratura del legno e di conseguenza non è rigoroso parlare di andamento longitudinale, poiché le fessurazioni hanno per la maggior parte uno sviluppo diagonale. Il fenomeno è irreversibile

ed è ancora più accentuato dalla mancanza di un adeguato protettivo, che rallenterebbe considerevolmente il processo di degrado. La superficie interna del manufatto presenta un livello di deterioramento notevolmente inferiore, sia per le condizioni ambientali più stabili, sia per la tipologia di lavorazione meno elaborata.

Il comportamento di una serie di tavole assemblate è sicuramente diverso da quello che può avere un singolo elemento; in una struttura assemblata ciascuna tavola tende a deformarsi in base alle proprie modalità ed è soggetta a forze di contrasto dipendenti dai vincoli agli altri elementi. Le tensioni che ne derivano sviluppano fenomeni fessurativi nelle zone di minore resistenza meccanica delle tavole lignee. Infine, anomalie che contribuiscono a modificare le pro-

Tab. 1 - Condizioni operative delle misurazioni microclimatiche.

MISURA ESEGUITA	STRUMENTO UTILIZZATO
Temperatura superficiale del legno	Termometro infrarossi Irtec P500; range -30 °C / +930 °C; risposta da 8 a 14 µm
Umidità Relativa e Temperatura dell'aria	Termoigrometro portatile HI 93640 della Hanna Instruments; range 5% / 95%; Data logger Testo 177- H1 range UR 0 / 100 % range T -11 / 160 °C
Umidità del legno	Rilevamenti invernali: igrometro ad infissione Hydromette HTR300; range 0% / 30% Rilevamenti estivi: igrometro ad infissione Protimer Mini Trig Instruments; range 6% / 30%
Irraggiamento solare	Fotoradiometro HD2102.1 DeltaOhm Sonda LP 471 UVA (315 nm / 400 nm) Sonda LP 471 RAD (400 nm / 1050 nm)

tab. 1

prietà fisico-meccaniche del manufatto sono i nodi e il legno di reazione⁸, entrambi presenti nella porta.

Analisi di laboratorio

Le specie legnose individuate attraverso l'esame macroscopico e microscopico dei campioni prelevati dalle superficie esterna ed interna del manufatto sono rispettivamente il noce (*Juglans regia* L.) ed il pioppo (*Populus* sp.)⁹.

Il legno di noce è un legno pregiato, scelto per le buone proprietà tecnologiche (durabilità, resistenza meccanica) ed estetiche. Molto spesso, il legno di noce presenta anomalie dovute alla costituzione anatomica: tra queste le più frequenti sono la fibratura deviata e la fibratura ondulata. Queste anomalie sono riscontrabili nella porta ed i danni che comportano determinano una considerevole diminuzione della resistenza meccanica del legno ed una tendenza del materiale a deformarsi. I segati che presentano questi difetti sono comunque scelti per gli effetti decorativi che possiedono: probabilmente gli assortimenti di noce utilizzati nella realizzazione della porta sono stati ricavati da porzioni basali del tronco dell'albero.

Il pioppo è una delle specie legnose più utilizzate per i manufatti lignei di interesse artistico, in quanto è facilmente lavorabile ed ha una buona compatibilità con molte specie legnose, tra cui il noce.

Sono stati individuati i prodotti utilizzati come protettivi nell'ultimo restauro (1999), mediante l'analisi FTIR di alcuni campioni prelevati dalla superficie esterna ed interna del manufatto.

Lo spettro ottenuto dall'analisi del prodotto usato all'esterno mostra una considerevole corrispondenza con quello delle resine acriliche; nello specifico, risulta un'affinità dell'80% con un polimetilmetacrilato, il Paraloid B72 (fig. 10)¹⁰. L'analisi dello spettro del protettivo utilizzato per l'interno mostra una discreta corrispondenza con lo spettro caratterizzante le resine alchidiche (fig. 11). Il composto può essere identificato con la resina utilizzata come protettivo nell'ultimo intervento di restauro.

Nello spettro di fig. 11 si individuano anche alcuni picchi che indicano la presenza in piccole quantità di carbonati e solfati di calcio e sostanze proteiche probabilmente riferibili a vecchie stuccature.

Indagini microclimatiche

Il monitoraggio microclimatico nell'interno del manufatto è stato svolto principalmente in due fasi. Sono state eseguite due campagne di misure, una durante il periodo invernale ed una durante il periodo estivo, a loro volta suddivise in una campagna di misure puntuali ed una campagna di monitoraggio con postazioni fisse (tab. 1). La campagna di misure puntuali dell'umidità relativa dell'aria, della temperatura del legno e dell'umidità del legno, si è sviluppata in 5 giorni in inverno, dal 27 febbraio al 3 marzo 2006, ed in 5 giorni in estate, dal 10 al 14 luglio 2006, in un arco della giornata compreso tra le 8.30 del mattino e le 16.30 del pomeriggio (orario di apertura del duomo). La campagna di misure con postazioni fisse si è protratta per circa un mese sia in inverno (dal 21 febbraio al 27 marzo 2006) che in estate (dal 26 giugno al 24 luglio

Tab. 2 - Valori termoisgrometrici delle postazioni fisse.

		MAX	MIN	MEDIA GIORNO	MEDIA NOTTE	MEDIA MENSILE	DEVIAZIONE STANDARD MENSILE
postazione PORTA rilevamenti invernali	UR%	98,6	32,2	72,7	72,3	72,5	14,8
	T °C	16,8	3,5	8,6	8,1	8,3	1,2
postazione CAMPANILE rilevamenti invernali	UR%	99,9	33	81,9	83,7	82,9	11,4
	T °C	15,6	-1	6,4	5,9	6,1	2,1
postazione PORTA rilevamenti estivi	UR%	76,1	14,9	42,3	43	42,7	7,5
	T °C	34,8	20,7	28,5	27,6	28	1,4
postazione CAMPANILE rilevamenti estivi	UR%	96,9	20,9	52,7	54,7	53,9	10,7
	T °C	32,5	16,1	25,7	24,8	25,2	2,2

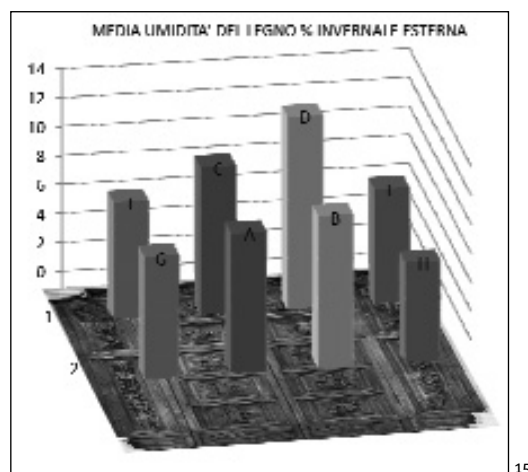
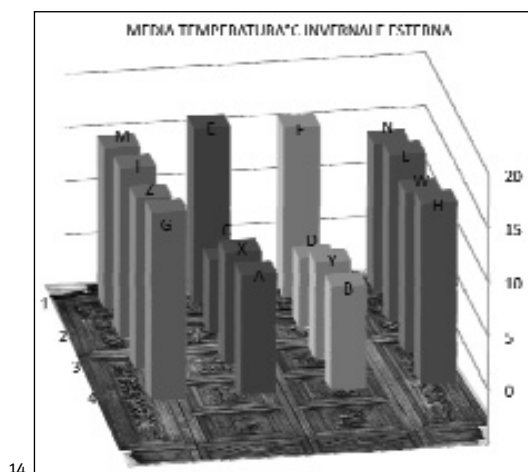
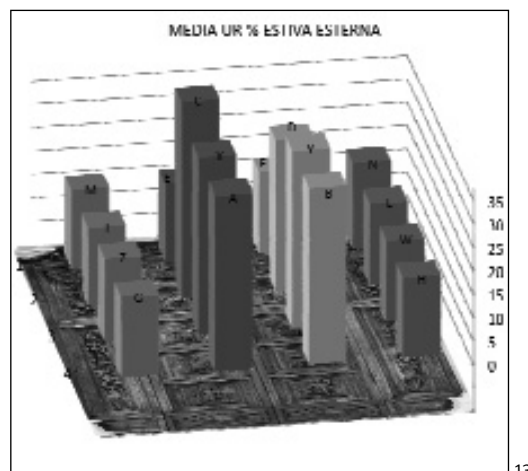
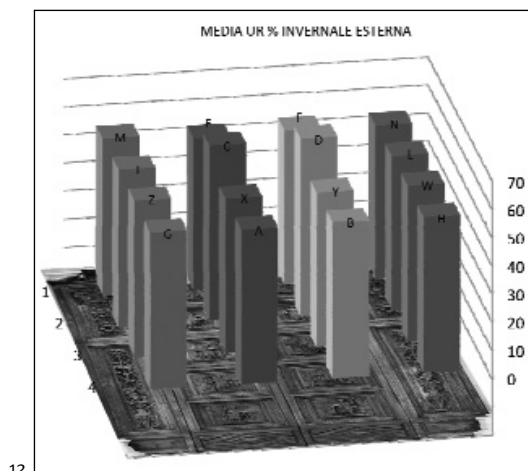
tab. 2

Fig. 12 - Umidità relative (%) sulla superficie esterna, campagna invernale.

Fig. 13 - Umidità relative (%) sulla superficie esterna, campagna estiva.

Fig. 14 - Temperature medie (°C) sulla superficie esterna, campagna invernale.

Fig. 15: Umidità del legno (%) sulla superficie esterna, campagna invernale.



2006), ed ha previsto il posizionamento di tre termoigrometri in zone differenti del duomo, registrando i valori di umidità relativa e di temperatura ogni 30 minuti. I parametri sono stati misurati in una zona interna lontana dalla porta (*coro*), in una zona interna prossima alla porta (*porta*)¹¹ e, nel tentativo di avere un confronto con una situazione limite, in una zona esterna (*campanile*)¹². In questa relazione vengono presentati solo i dati riguardanti la postazione *porta* e la postazione *campanile*, poiché sono ritenuti sufficienti per ottenere un quadro generale del microclima.

Nel valutare i risultati ottenuti è stato preso atto della mancanza di impianti di riscaldamento all'interno della chiesa ed inoltre della scarsa frequentazione della stessa da parte dei fedeli, poiché non vi sono svolte quotidianamente funzioni religiose.

I dati di UR e T (tab. 2) registrati in continuo durante il periodo invernale ed estivo mostrano

valori medi tipicamente stagionali, con notevole divario tra minimi e massimi e con accentuate oscillazioni nelle 24 ore, nonché fra successive giornate nell'arco del mese.

Le misure registrate dai due datalogger nelle postazioni *porta* e *campanile* sottolineano andamenti coerenti, anche se i valori rilevati sono decisamente differenti. Infatti la postazione *porta* è a diretto contatto con l'ambiente esterno e subisce le rapide variazioni sia di T che di UR. I valori della postazione *coro* sono soggetti in minor misura alle repentine oscillazioni termoigrometriche con scarse deviazioni dalla media, denunciando la collocazione più riparata all'interno della chiesa.

L'analisi delle misure puntuali contribuisce a delineare la situazione microclimatica della porta e a comprendere più a fondo come essa influisca sulle proprietà meccanico-fisiche del manufatto.

Poiché le misurazioni sono state realizzate ad intervalli di un'ora, ogni parametro è stato rileva-

to otto volte al giorno, così da poter comprendere le variazioni medie giornaliere e settimanali di ogni grandezza misurata. I rilevamenti sono stati eseguiti su sedici punti della porta (trentadue se si considera anche l'interno), collocati a diverse altezze. Questi sono individuati con una lettera dell'alfabeto; i valori rilevati sono stati suddivisi in quattro gruppi comprendenti diversi punti della porta, apostrofati per quanto riguarda la superficie interna (figg. 2, 3). Per ogni intervallo orario sono state eseguite prima le misurazioni sulla parte interna della porta e successivamente quelle sulla faccia esterna della stessa, sempre procedendo dal basso verso l'alto.

Il quadro delineato dall'analisi delle misurazioni invernali (esterne ed interne) dell'umidità relativa dell'aria mostra un andamento dei valori medi omogeneo. L'umidità relativa media invernale esterna è compresa tra 54% (punto E) e 62,8% (punto D). I valori dei punti C e D, rispettivamente 62,4% e 62,8%, risultano discordanti rispetto alla media dei rimanenti punti. Essendo collocati al limite superiore delle due ante sono maggiormente soggetti alle variazioni igrometriche nell'arco della giornata (fig. 12). L'analisi della situazione microclimatica invernale interna non mostra una situazione particolarmente critica.

Come già accennato, a causa dell'esposizione a sud la porta è totalmente e lungamente esposta all'influenza dei raggi solari. L'insistenza dei raggi solari sulla superficie del manufatto influenza quindi i valori d'umidità relativa dell'aria, che presentano forti oscillazioni nell'arco della stessa giornata, variazioni che si ripercuotono sull'umidità del legno, che fluttua determinando i movimenti stessi della porta, soggetta a continui cicli di adsorbimento e desorbimento di vapore d'acqua.

L'analisi dei valori medi di UR esterni indica che in estate i battenti laterali fissi ed i pannelli superiori sono più soggetti all'influenza delle condizioni climatiche (fig. 13), con un forte disequilibrio igrometrico dell'aria a contatto della superficie esterna della porta, che è causa primaria del deterioramento strutturale già descritto, mentre invece la situazione microclimatica interna risulta più stabile anche nella stagione estiva.

In inverno i valori medi della temperatura superficiale esterna hanno una distribuzione nettamente eterogenea, mantenendosi più bassi sulle due ante apribili. Infatti, essendo aperte per la maggior parte della giornata, esse sono

meno soggette all'influenza dei raggi solari, al contrario dei due battenti laterali e dei quattro pannelli superiori. La situazione interna della porta, essendo meno soggetta alle variazioni termigrometriche, con valori medi compresi tra 5,4 °C (punto D') e 7 °C (punto W'), risulta più stabile di quella esterna, influenzata dai repentini cambiamenti delle condizioni climatiche (fig. 14).

In estate le temperature medie superficiali all'esterno sono contraddistinte da valori compresi tra 30,3 °C (punto D) e 45,6 °C (punto G). Le due ante apribili si mantengono, come in inverno, su valori più bassi rispetto ai due battenti laterali e ai quattro pannelli superiori: le temperature sono comunque elevate (comprese tra 30,3 °C e 41,4 °C) e preoccupanti per la conservazione del manufatto. Anche in questo caso, ovviamente, la situazione interna risulta più stabile, essendo i valori medi compresi tra 25,6 °C (punto E') e 27,5 °C (punto B').

Le misurazioni dell'umidità del legno non sono state compiute su tutti i punti della porta, ma ne sono stati selezionati solo alcuni per limitare l'invasività: sulla fascia orizzontale inferiore della porta (punti A, B, G, H) e sulla fascia medio-alta (punti I, C, D, L).

In inverno l'umidità sulla superficie esterna del manufatto mostra valori omogenei tra il primo e il secondo gruppo, con valori più alti di circa un'unità per quest'ultimo. L'umidità, ad eccezione del punto D, è al di sotto del 12%, valore convenzionalmente riconosciuto valido perché possa realizzarsi una corretta conservazione del manufatto (fig. 15). I rilevamenti di umidità interna registrano valori compresi tra 12% (punto B') e 17,4% (punto G') per il primo gruppo e 10,1% (punto L') e 14,6% (punto C') per il secondo gruppo. Le differenze tra le misure esterne e quelle interne, oltre che per la diversità delle specie (l'interno è in pioppo e l'esterno in noce), sono determinate dalle influenze dell'umidità relativa dell'aria e della temperatura del legno.

In estate l'umidità del legno si mantiene su valori bassi. Sulla superficie esterna l'umidità oscilla, infatti, tra il 6% e l'8%, mentre all'interno si registrano valori leggermente superiori (8-11%).

Le misurazioni dell'irraggiamento solare della porta sono state effettuate esclusivamente durante la campagna di rilevamenti estiva, poiché è in questa stagione che i raggi solari causano i maggiori danni alla struttura del legno.

I valori medi di radianza totale sono compresi

tra 568,9 e 605,5 W/m²; il valore massimo è 658,2 W/m², il minimo di 485,0 W/m². Le misure medie registrate dalla sonda UVA presentano valori compresi tra 18,0 e 20,7 W/m²; il valore minimo è 11,7 W/m²; il valore massimo, invece, è 25,4 W/m².

Conclusioni

L'elaborazione dei dati registrati nelle due campagne di rilevamento (invernale ed estiva), sia con postazioni fisse che con misurazioni puntuali, permette di delineare un quadro completo della situazione microclimatica del manufatto. Risulta evidente una forte differenza tra i valori massimi e minimi, sia dell'umidità relativa che della temperatura registrati nelle postazioni fisse, con differenze rispettivamente del 66% e 13 °C in inverno, e del 62% e 14 °C in estate. Le medie delle escursioni giorno-notte per entrambi i parametri registrati (UR e T) mostrano valori simili sia in inverno che in estate. I valori medi riportati in questa relazione non sono però indicativi del verificarsi di numerosi fenomeni transienti di fluttuazione marcata dei valori termogrometrici i quali incidono considerevolmente sui comportamenti meccanici e reologici del legno. Questi cambiamenti continui dei valori di UR e T generano tra la superficie e l'interno del manufatto forti gradienti di umidità che contribuiscono al degrado fisico del materiale, sottoposto a continue variazioni di contenuto d'acqua e conseguenti stress meccanici.

Inoltre è evidente come la superficie del manufatto non presenti il medesimo livello di degrado in tutte le sue parti, essendo i quattro pannelli superiori ed i battenti esterni soggetti in maggior misura all'influenza dei repentini cambiamenti di UR e T ed esposti alla forte incidenza dei raggi solari nell'intero arco della giornata. La superficie interna mostra una situazione più stabile con valori che descrivono andamenti giornalieri più uniformi, con variazioni più limitate ma non per questo ottimali ai fini della conservazione del manufatto. Le due ante centrali, essendo aperte per gran parte della giornata (8.30-16.30), rappresentano una situazione limite tra le due parti fisse (interna ed esterna).

Prendendo in esame i valori dei parametri ambientali consigliati dagli standard museali¹³ risulta evidente come i valori relativi alla porta siano ben lontani da quelli suggeriti per i manu-

fatti lignei. La radianza totale massima ammessa per un materiale appartenente alla categoria media, quale è il legno, è di 10 W/m², mentre quella registrata sulla porta è di 658,2 W/m². Pertanto la conservazione della porta nello stato e collocazione attuali appare alquanto problematica, tenuto conto anche degli standard museali.

L'applicazione di protettivi sulla superficie del manufatto non può garantire da sola alcuna protezione duratura dagli agenti ambientali del degrado, poiché la durabilità di questi prodotti risulta esigua e limitata nel tempo.

Negli ultimi anni nessuna operazione ordinaria di manutenzione è stata eseguita: l'incuria ha causato lo sviluppo di una serie di processi chimico-fisici ormai irreversibili. La porta necessita di un immediato intervento di restauro che comprenda una prima fase di pulitura e successivamente una di consolidamento, con relativa patinatura a tono dell'intera superficie esterna ed interna.

La vera soluzione ai fini di una buona conservazione dovrebbe prevedere la musealizzazione del manufatto e la sua sostituzione poiché, come più volte evidenziato, non è possibile garantire una protezione duratura e continuativa della porta, né con prodotti chimici inevitabilmente deperibili, né con barriere fisiche che potrebbero creare ulteriori problemi conservativi. A favore della musealizzazione della porta si aggiunge, inoltre, la difficoltà se non l'impossibilità di eseguire una corretta e concreta manutenzione programmata che potrebbe costituire l'unica valida alternativa.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Sua Eccellenza Monsignore Giovanni Scanavino e l'Opera del Duomo per aver permesso lo svolgimento dei rilievi, l'ingegner Antonio Mannaioli per aver consentito l'accesso alla documentazione di archivio, Marco Crocetti per la realizzazione della campagna fotografica.

Il lavoro è stato svolto in parti uguali dagli autori. Il lavoro è stato finanziato con i Fondi per la Ricerca Scientifica di Ateneo di Claudia Pelosi e Angela Lo Monaco.

Note

¹ G. Genco, *La porta lignea del Duomo di Todi: aspetti conservativi*, Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali, Università della Tuscia, relatore professoressa C. Pelosi, a.a. 2005/06.

² C. Maura, *La porta lignea del Duomo di Todi: analisi del microclima*, Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali, Università della Tuscia, relatore professoressa C. Pelosi, a.a. 2005/06.

³ C. Grondona, *Il Portale*, in *La Basilica Cattedrale di Todi "Nella Sua Gloria Nova"*, pp. 55-56, Todi, 1958.

⁴ Archivio del capitolo della Cattedrale di Todi, *Atti diversi*, busta 19, sec. XVII.

⁵ C. Grondona, op. cit. 1958.

⁶ A.M. De Sanctis, *Riapertura della Basilica Cattedrale di Todi: 8 giugno 1958*, Perugia, 1958.

⁷ A. Cinelli, *Il restauro del portone del Duomo. Ultimato in occasione della visita del Papa*.

⁸ Il legno di reazione è un tessuto xilematico anomalo che si forma nei fusti sollecitati asimmetri-

camente (ad esempio nei fusti inclinati, in alberi con chioma asimmetrica, nei rami). Il legno di tensione, caratteristico delle latifoglie, presenta un ritiro longitudinale più elevato della norma che può provocare deformazioni della planarità e fessurazioni.

⁹ Per il riconoscimento delle specie legnose si è tenuto conto della UNI-NORMAL 11118, *Manufatti lignei. Criteri per l'identificazione delle specie legnose*, 2004, e sono state utilizzate le seguenti chiavi dicotomiche: C. Jacquot, Y. Trenard, D. Dirol, *Atlas d'anatomie des bois des angiospermes*, Parigi, Centre Technique du Bois avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique, 1973; F.H. Schweingruber, *Microscopic Wood Anatomy*, Birmensdorf, Kommissionsverlag, 1982; P. Pajouh, F.H. Schweingruber, *Atlas des bois du nord de l'Iran. Description anatomique et identification microscopique des essences principales*, Birmensdorf, Institut Fédéral de Recherches Forestières, 1985; F.H. Schweingruber, *Anatomy of European Woods: an atlas for the identification of European trees*, Swiss Federal Institute Forest, Snow and Landscape Research, Berna, 1990; R. Nardi Berti, *La*

struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego, in *Contributi Scientifico-Pratici: per una migliore conoscenza e utilizzazione del legno*, XXIV, Firenze, CNR-Istituto per la ricerca sul legno, 1994.

¹⁰ I picchi di assorbimento più pronunciati sono a $1731,48\text{ cm}^{-1}$, che individua il doppio legame C=O, e a $1448,78\text{ cm}^{-1}$, che individua il gruppo funzionale degli esteri (COO⁻). M.R. Derrick, S. Stulik, J.M. Landry, *Infrared spectroscopy in conservation science*, the Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1999.

¹¹ Il data logger è stato posizionato a circa 6 m di altezza da terra ed ad 1 m dalla parte più alta della porta.

¹² Il data logger è stato posizionato sulla sommità del campanile, in esposizione esterna ma riparata dalla pioggia e dalla radiazione solare diretta.

¹³ "Gazzetta Ufficiale", *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 19 ottobre 2001.